МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 678.549 10.23947/1992-5980-2017-17-1-67-74

Влияние содержания древесного дисперсного наполнителя на долговечность композиционных материалов*

И. Р. Антибас[1], А. Г. Дьяченко[2]**
[1,2] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Effect of wood particulate filler content on durability of composite materials***

I. R. Antypas[1], A. G. Dyachenko[2]**
[1,2] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Использование биокомпозитных материалов является необходимой составляющей комплекса мер по защите окружающей среды. В соответствии с классификацией полимеров нефтехимического происхождения, биополимеры можно разделить на термические и пластические термического упрочнения. Первые могут быть изменены для проведения повторного нагрева, вторые — нет, по причине затвердевания карбоната кальция. Термические биопластмассы были разработаны, в основном, для упаковочной промышленности и могут быть предложены в качестве связующего агента в биокомпозитных материалах.

Материалы исследования. При проведении настоящего исследования древесные волокна опилок были выбраны в качестве добавки для получения армированных пластмасс на основе полиэстерового волокна. Целью исследования являлось определение оптимального соотношения объёма и размеров опилок. В ходе экспериментов были проведены испытания различных смесей древесных опилок при варьировании сочетания их размеров, объёма и прилагаемых к ним нагрузок.

Результаты исследования. Полученные результаты продемонстрировали увеличение деформации композитного материала при увеличении доли древесных опилок любых объемов, исследованных в тесте на давление, а также уменьшение прочности и относительного удлинения при увеличении доли опилок средних и малых объёмов. Прочность и удлинение композитного материала возрастает с увеличением доли опилок с объемом, превышающим 120 мм^3. Напряжения увеличиваются тогда, когда размер древесных опилок равен 20 мм^3 и соотношение смешивания равно 25%, при этом упругость материала понижается.

Обсуждение и заключения. В опытах на изгиб изделия наблюдалось снижение прочности и увеличение относительного удлинения при смешивании образца с древесными опилками объёмом 5 мм^3, возрастание прочности и удлинения при увеличении их объёма до 25 мм^3, а затем уменьшение прочности и относительного удлинения при увеличении объёма до 120 мм^3.

Introduction. Usage of the biocomposites is a vital component of the environment protection policy. According to the classification of the petrochemical polymers, biopolymers can be divided into thermal and plastic heat-strengthening ones. The former can be modified for reheating, and the latter cannot – due to the calcium carbonate solidification. Thermal bioplastics are developed mainly for the packaging industry, and they can be used as a binder in the biocomposite materials.

Materials and Methods. Sawdust wood fibers are selected as an additive to produce reinforced rubber plastics (polyester fiber) for this study. The work objective is to determine the optimum ratio of the sawdust volume and size. In the course of the experiments, various sawdust mixtures are tested through varying the combination of their size, volume and applied loads.

Research Results. The obtained results show a growth of the composite material deformation when increasing the proportion of sawdust of any volumes studied under the pressure testing, as well as a decrease in strength and tensile strain when increasing the proportion of sawdust of medium and low volumes. The strength and elongation of the composite grows with increasing the sawdust fraction volume for more than 120 mm^3. Stresses increase when the size of wood sawdust is 20 mm^3 and mixing ratio is 25%, therewith the material elasticity decreases.

Discussion and Conclusions. In bending tests, the reduction in strength and increase in tension strain when mixing a sample with sawdust of 5 mm^3, gain in strength and elongation at increasing their volume up to 25 mm^3, and then the reduction of strength and tension strain at increasing their volume to 120 mm^3 are observed.

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
** E-mail: imad.antypas@mail.ru, Dyachenko_aleshka@bk.ru
*** The research is done within the frame of the independent R&D.

Ключевые слова: древесные волокна, полиэстер, производство композитных материалов, натуральные волокна.

Keywords: wood fibers, polyester fiber, production of composite materials, natural fibers.

Введение. Целлюлозное волокно является доступным материалом в большинстве стран мира, оно обладает относительно низкой стоимостью, а также свойствами, напрямую зависящими от его пористости и прочности, — стойкостью к разрушению и пластическому деформированию при контактных нагрузках, антивозгораемостью, лёгкостью, теплоизоляционностью, звукопоглощаемостью и электроизоляционностью. Известно, что материалы, изготовленные на основе целлюлозного волокна, не относятся к высокопрочным и используются в тех композитных материалах, к которым таких требований не предъявляется.

Производство биокомпозитных материалов является важной составляющей комплекса мер по защите окружающей среды. Как и в случае с классификацией полимеров нефтехимического происхождения, биополимеры можно разделить на термические и пластические термического упрочнения. Первые могут быть изменены для проведения повторного нагрева, вторые — нет, так как карбонат кальция затвердевает и не может быть изменён при повторном нагреве. Термические биопластмассы были разработаны в первую очередь для упаковочной промышленности. Они не имеют классификаций, аналогичных приведенным выше, и могут использоваться в качестве связующего агента в биокомпозитных материалах. Термоупрочнённые пластмассы являются весьма подходящими для этих целей, но технология их производства требует доработки. Это связано с тем, что они частично полимеризуются и карбонат кальция затвердевает сразу после его ввода в композитный материал [1].

В научной литературе описаны эксперименты с биоматериалами, применяемыми для изготовления транспортных средств [2, 3]. Например, авторами [4, 5] использовались различные типы смол с волокнами ананаса для производства композитных материалов на основе натуральных веществ. Было установлено, что прочность на разрыв и устойчивость к изгибу в направлении наибольшего волокна связана со свойствами древесных волокон, даже при низком соотношении объемов смешивания (до 30%).

С увеличением доли волокон свойства материала могут быть улучшены, и использование таких композитных материалов всё чаще применяется при вторичном строительстве, в автомобилестроении и т. д. Существует технология производства композитных материалов на основе натуральных веществ с добавлением полиэфиров и джутовых волокон. Эти материалы предназначены для изготовления элементов транспортных средств с целью увеличения адгезии и улучшения их свойств [6, 7].

Применение пластмасс, армированных натуральными волокнами, нашло применение в элементах конструкций автомобильной промышленности (рис. 1.). При производстве пластмасс используются материалы, армированные волокнами джута для изготовления, например, внутренних панелей дверей, которые имеют хорошие технические характеристики, поскольку полученный композитный материал имеет структуру, аналогичную волокну коры дерева. Авторы [8] использовали волокна льна с полипропиленом для изготовления некоторых нижних частей автомобиля.



Рис. 1. Детали автомобилей, изготовленные с использованием волоконкиз натуральных армированных материалов

Fig.1. Car parts manufactured using fibers from natural reinforced materials

Композитный материал из волокон льна с полипропиленом после его переработки и рециркуляции может использоваться повторно в деталях, изготовленных методом литья под давлением. Затраты при этом значительно снижаются и полученные изделия отвечают требованиям безопасности. В дополнение к эстетическим формам, полученное вещество устойчиво к царапинам и не требует отделки и заключительных операций. Красивый дизайн и доступность различных цветовых оттенков способствуют широкому распространению данных материалов для изготовления внутренних деталей автомобиля, которые требуют элегантного вида [9].

Тем не менее, натуральные волокна не могут быть использованы в естественном виде, так как должны быть отделены от пектиновой смолы, соединяющей сердцевину стволовой древесины. Кроме того, волокна должны быть

отделены друг от друга для того, чтобы увеличить адгезию в композитных материалах. Существует несколько способов по разделению натуральных волокон, которые могут быть применены для изготовления тканей или других вещей.

Цель исследования. Целью настоящего исследования является создание новых материалов для повышения долговечности деталей машин современной сельскохозяйственной техники, уменьшения веса этих деталей и предотвращения уплотнения почвы; проектирование корпусных деталей, имеющих оригинальную геометрическую форму; определение соотношения волокон древесных опилок для производства композитного материала.

Материалы и методы. Подготовка древесных опилок осуществлялась авторами следующим образом: для отсортировки опилок использовалась вибрационная установка с набором сит с известными размерами их отверстий, которые применялись также для определения размеров древесных опилок. Были выбраны опилки различного объёма (3 варианта), которые добавлялись в смесь в определенной концентрации (Таблица 1).

Таблица 1

Table 1

Поддерживаемые размеры и соотношения в экспериментах

Maintained sizes and ratios in the experiments

Процент опилок в смеси				Объём опилок, мм^3
25%	10%	5%	2%	5
25%	10%	5%	2%	25
25%	10%	5%	2%	120

Композитные материалы (полиэфирные смолы и древесные опилки) состояли из следующих основных материалов:

1. Резина (полиэстер);
2. Упрочняющая добавка;
3. Ускоряющая добавка (кобальт);
4. Гранулированные древесные опилки.

После того, как металлические пресс-формы и другие элементы оборудования были подвергнуты полировке и обезжириванию, они были помещены под стеклянный лист для того, чтобы обеспечить чистоту эксперимента (рис. 2). После обезжиривания стекло было покрыто воскообразным веществом для того, чтобы облегчить удаление образцов из-под него и создать отсутствие адгезии на плате так, чтобы не привести к разрыву обработанных образцов.

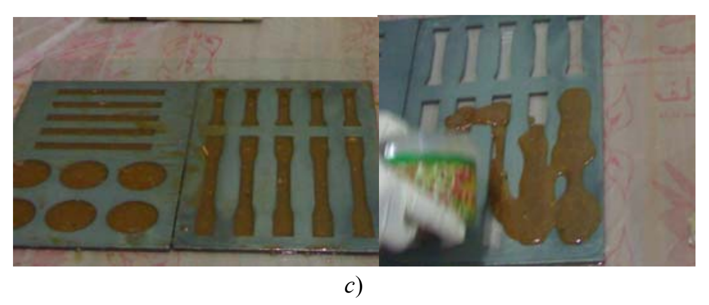
Для проведения опытов были подготовлены четыре различные смеси для каждого объёма древесных опилок при различных соотношениях их смешивания [10].

Смесь 1: 200 г смолы сложного полиэфира, 1 г кобальта и 4 г полиэфирных смол. Смесь хорошо перемешивали до получения однородной состояния, затем добавляли 2% (т. е. 4 г) опилок объёма 25 мм^3, затем снова перемешивали, выливали в форму и оставляли шаблон в течение 24 часов, пока она не примет соответствующую форму.



a)

b)



c)

Рис. 2. *a*) определение объёмов древесных опилок с помощью сита;
b) обработка металлической формы и стекла;
c) выливание смеси в пресс-форму

Fig.2. *a)* determining volumes of wood sawdust with a sieve;
b) treating metal mold and glass; *c)* pouring mixture into press mold

Смесь 2: 200 г смолы сложного полиэфира, 1 г кобальта и 4 г полиэфирных смол, 5% (10 г) опилок объёма 25 мм^3.

Смесь 3: 200 г смолы сложного полиэфира, 1 г кобальта и 4 г полиэфирных смол, 10% (20 г) опилок объёма 25 мм^3.

Смесь 4: 200 г смолы сложного полиэфира, 1 г кобальта и 4 г полиэфирных смол, 25% (50 г) древесных опилок объёма 25 мм^3.

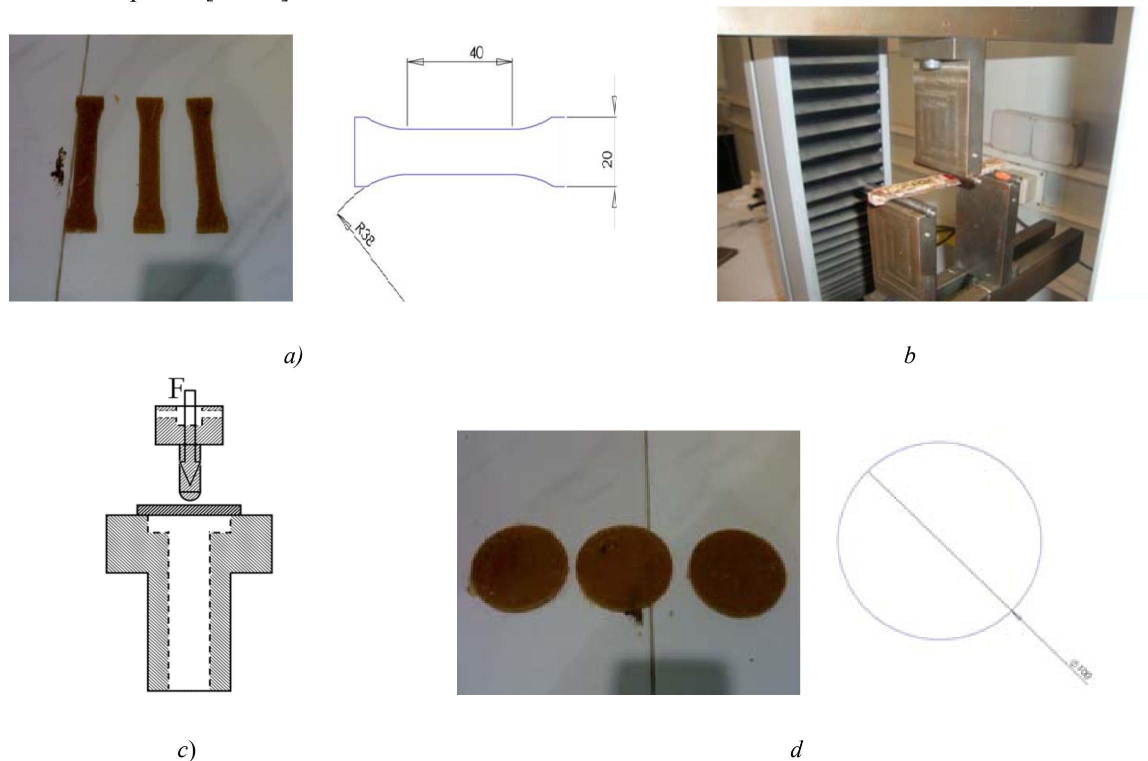
Технологический процесс получения смесей 2–4 соответствовал процессу получения смеси 1.

Проведение опытов. Образцы подвергали трем видам нагрузок (давлению, сдвигу и изгибу) для определения влияния объёмов частиц и пропорции смешивания на прочность полученных композитных материалов.

При нагрузках на давление обработка проб и испытания проводились в соответствии с условиями *ASTM*. Испытаниям подвергался образец со следующими размерами: толщина 3,5 мм, ширина 13 мм, расстояние между зажимами 40 мм (рис. 3).

Испытания на изгиб проводили в соответствии с системой *ASTM: D* 790–95*a*. Параметры образца: длина 125 мм; диаметр шарика 8 мм; толщина 3,5 мм.

Испытания на сдвиг и срез были проведены в соответствии с требованиями *ASTM: D*732–93. Диаметры исследуемых образцов составляли 50 мм, диаметр головки 11 мм, степень нагрева 23 C°, скорость 1,25 мм/мин, толщина образца 3,5 мм. На рис. 3, *c* продемонстрировано, каким образом приложена нагрузка, а на рис. 3, *d* показаны протестированные образцы [11–13].



a) *b*

c) *d*

Рис. 3. *a*) образцы датчиков давления, используемых в экспериментах;
b) экспериментальная установка, испытывающая образцы на изгиб; *c*) приложение нагрузки; *d*) образцы полученных срезов

Fig. 3. *a)* samples of pressure sensors used in experiments;
b) pilot unit for bending tests; *c)* load application; *d)* samples of obtained slices

Результаты и обсуждение:

1. Испытания образцов на давление:

График зависимости давления от объёмов древесных опилок при различных соотношениях смешивания изображен на рис. 4. Прочность материала при возрастании давления увеличивалась с ростом доли смешивания. Полученные кривые можно разделить на две зоны:

Зона I: Сопротивление композитного материала возрастает с увеличением объёма опилок, увеличивается взаимосвязь волокон и снижается возможность образования начальных трещин, которые возникают при нажатии.

Зона II: В результате увеличения объема опилок образуются бесконтактные точки, что, в свою очередь, приводит к ускорению разрушения материала под давлением.

По результатам испытаний образцов на давление оптимальным оказался объём опилок, равный 20 мм^3, при доле наполнителя в смеси 25%, что иллюстрирует рис. 4, *a*. График зависимости напряжений от объёма древесных опилок при различных соотношениях смесей изображен на рис. 4. При этом в зоне I деформация материала увеличивается с увеличением размеров древесных опилок, в этой же зоне увеличивается его упругость. В зоне II при увеличении объёма древесных опилок формируются бесконтактные точки, вызывающие потерю упругости под давлением (рис. 4, *b*).

Следует обратить внимание на увеличение отклика материала на нагрузки с ростом доли смешивания при объёме древесных опилок, равном 20 мм^3, что даёт самую высокую величину деформации в случае давления.

2. Испытания образцов на сдвиг:

Результаты испытаний, приведённые на рис. 4, показывают четкое рассогласование с результатами опытов на давление. Появляются три зоны точек разрушения в случае, когда объём опилок составляет 20 мм^3.

Зона I: сопротивление материала уменьшается с увеличением объёма и соотношения древесных опилок в смеси. Когда же их объём мал, это приводит к облегчению проникновения в материал.

Зона II: сопротивляемость проникновению увеличивается в результате увеличения объёма опилок.

Зона III: сопротивление сдвигу увеличивается с увеличением объёма древесных опилок (рис. 4, *c*).

Во всех экспериментах отмечается незначительность роли добавления опилок при маленьких пропорциях смешивания.

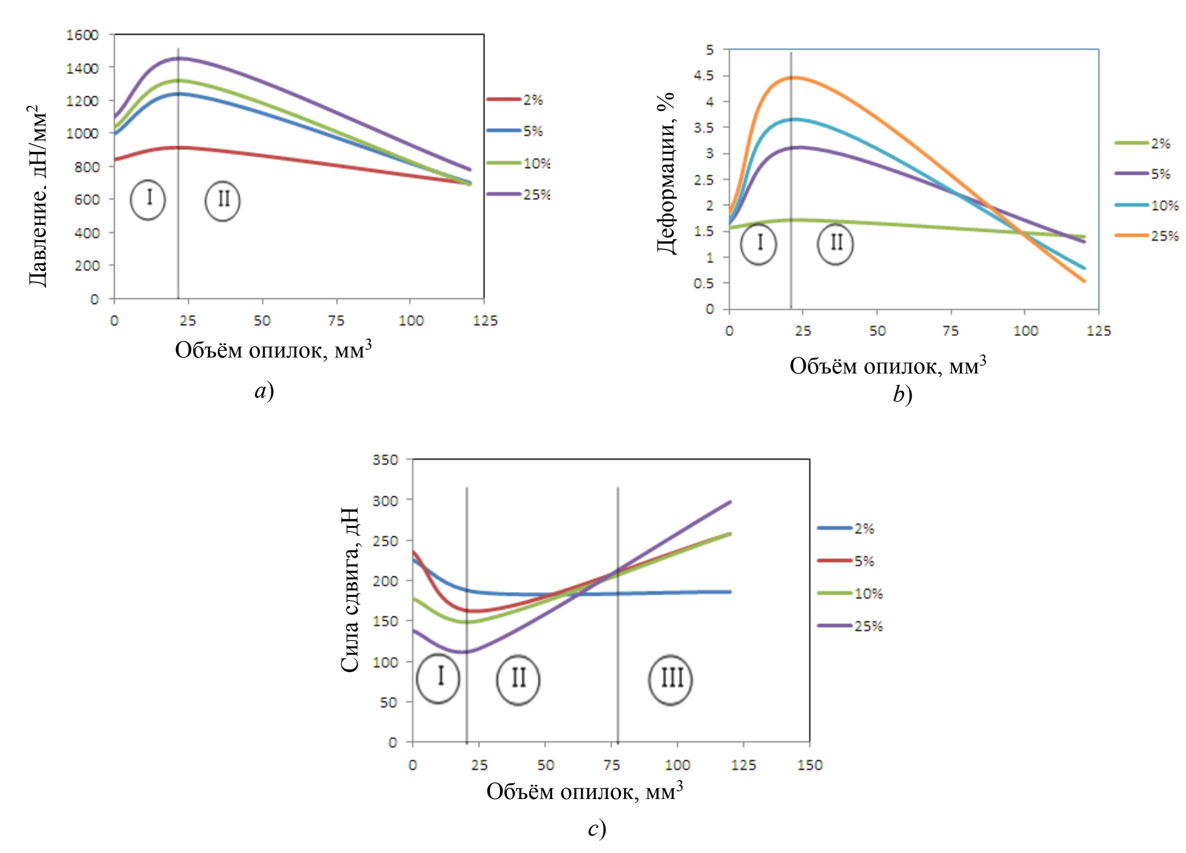


Рис. 4. Соотношение между размером опилок и:
a) величиной напряжения от давления; *b*) величиной деформации; *c*) силой сдвига при различных соотношениях смешивания
Fig. 4. Relationship between sawdust size and:
a) pressure stress value; b) strain magnitude;c) shear force at various mixing ratios

На рис. 5 отмечены три зоны:

Зона I: отмечена негативная роль увеличения доли древесных опилок в отношении относительного удлинения. Это увеличение приводит к снижению относительного удлинения, которое происходит из-за небольшого объёма древесных опилок и образования пустот, способствующих проникновению в материал.

Зона II: увеличение объёма опилок придаёт упругость материалу и приводит к увеличению удлинения.

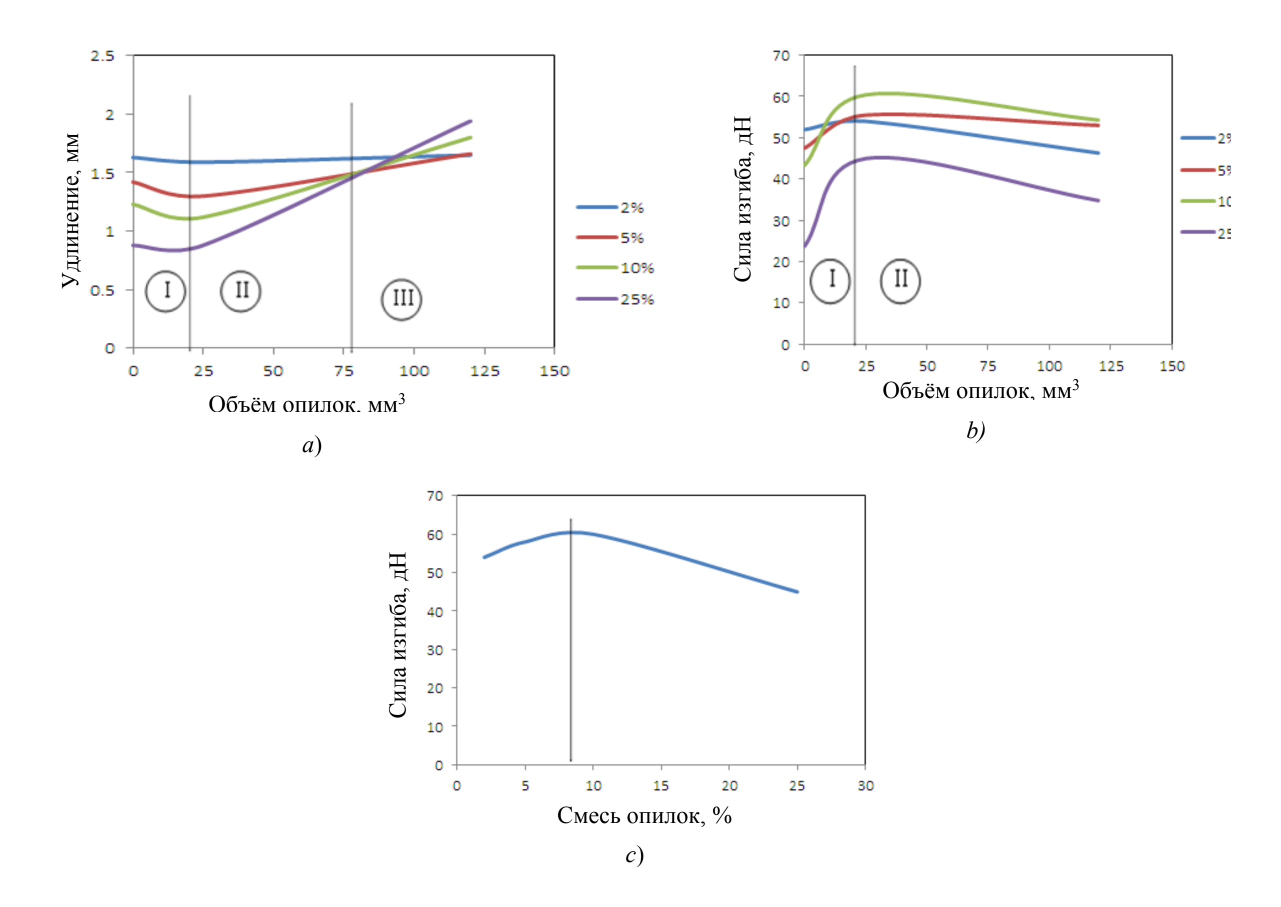


Рис. 5. Соотношение между объёмом опилок и: *a*) величиной удлинения; *b*) силой изгиба при различных коэффициентах смешивания; *c*) силой изгиба при объёме опилок 20 мм^3

Fig. 5. Relationship between sawdust volume and: a) elongation value; b) bending force at various mixing coefficients; c) bending force at sawdust volume of 20 mm^3

На рис. 5 изображены кривые, которые иллюстрируют зависимость между величиной удлинения, силой изгиба и объёмом древесных опилок. При низком проценте смешивания (2% и 5%) влияние объёма опилок более существенно, чем при объёме 20 мм^3, при котором происходит увеличение упругости материала.

Зона III: добавление большей доли древесных опилок приводит к повышению упругости материала при увеличении объёма и пропорции смешивания древесных опилок. Не отмечено влияние объёма древесных опилок при низких соотношениях их смешивания с полиэфирными смолами (рис. 5, *a*).

3. Испытания образцов на изгиб:

На рис. 5, *b* продемонстрированы нагрузки, которые приводят к разрушению материала при изгибе в зависимости от соотношения смешивания компонентов материала с добавками из древесных опилок. При исследовании материала на изгиб наиболее важным фактором является соотношение смешивания, при котором происходит вначале его увеличение, а затем уменьшение. Авторами была получена кривая зависимости силы изгиба от процента древесного наполнителя в смеси. При этом объём опилок составлял 20 мм^3, что соответствовало максимальному значению силы сопротивления к разрушению (рис. 5, *c*). Сила изгиба достигла своего максимума при 9% смешивании.

Выводы. Использование композитных экологически чистых материалов в настоящее время весьма ограничено, особенно в области сельскохозяйственной техники. Однако исследования показали, что использование волокон древесных опилок в качестве связующего наполнителя очень перспективно. Проведенные эксперименты помогли выяснить, что при нагрузке под давлением напряжения в материале увеличиваются, когда размер древесных опилок ра-

вен 20 мм^3, а их доля в смеси составляет 25%. При этом упругость материала понижается. При приложении поперечной нагрузки величина силы минимальна при тех же условиях. В этом случае упругость материала также понижается. Когда на материал действует изгибная нагрузка, наибольшее сопротивление достигается при доле опилок в смеси, равном 9%, размере опилок 20 мм^3. Упругость в значительной степени зависит от темпов смешивания и объёма древесных опилок. При низком процентном соотношении смешивания (2% и 5%), влияние, оказываемое добавлением опилок, начинает сказываться при объемах опилок, больших 20 мм^3. При больших соотношениях смешивания, упругость уменьшается с увеличением объёма древесных опилок. Таким образом, авторами сделан вывод о том, что объём древесных опилок, равный 20 мм^3, является оптимальным для получения композиционного материала с заданными свойствами.

Библиографический список

1. Hermann, A. P. Construction materials based upon biologically renewable resource — from components to finished parts / A. P. Hermann, G. Nickel, R. Riedel // Polymer Degradation and Stability — 1998 — no. 59 — P. 251–261.

2. Nickel J. Activities in biocomposites / J.Nickel ,U.Riedel // Materials Today — 2003 — vol. 6, no. 4 — P. 44–48.

3. Netravali A. N. Composites get greener /A. N. Netravali, S. Chabba // Materials Today — 2003 — vol. 66, no. 4 — P. 537–545.

4- Richardson M. Nonwoven hemp reinforced composites / M. Richardson, Z. Zhang //Reinforced Plastics — 2001 — Vol. 45, no. 4 — P. 40–44.

5. Marsh G. Next step for automotive materials / G. Marsh // Materials Today — 2003 — vol. 6, no. 4 — P.36–43.

6- Luo S. Green composites made from pineapple fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin / S. Luo, A.N. Netravali // Proc. of ICCE-5 (Fifth International Conference On Composites Engineering), Las Vegas, USA. — 1998 — P. 661–667.

7. Luo, S. Mechanical and thermal properties of environment friendly green composites made from pineapple leaf fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin / S. Luo, A.N. Netravali // Polymer Composites — 1999 — no. 20 — P. 367–378.

8. Thames S. F. Effect of preparation and processing on mechanical properties and water absorption of soy protein-based biocomposites /S.F. Thames, L. Zhou // Proc. Of ICCE-5 (Fifth International Conference On Composites Engineering), Las Vegas, USA. — 1998 — P. 887–897.

9. Thames S. F. Combining soybean protein with other renewable agrochemicals to produce environmentally friendly, formaldehyde-free wood adhesives / S. F. Thames, Richard Cook, L.A. Edgar Jr, S. deBlasio // Proc. of ICCE-6 (Sixth International Conference On Composites Engineering), Florida, USA — 1999 — P. 135–146.

10. Kharmanda G. Reliability-Based Design Optimization Strategy for Soil Tillage Equipment Considering Soil Parameter Uncertainty / G. Kharmanda, I. Antypas // Vestnik of DSTU — 2016 T. 16. No. 2 (85). P. 136–147.

11. Антибас, И. Р. Влияние параметров плодов на их повреждения при транспортировке / И. Р. Антибас, С. А. Партко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 9-й междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2016. — С. 79–82.

12. Антибас, И. Р. Влияние формы гофрированного картона на амортизирующие свойства упаковки / И. Р. Антибас, С. А. Партко, А. Н. Сиротенко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2016. — Т. 16, № 1 (84). — С. 36–42.

13. Антибас, И. Р. Влияние формы гофрированного картона на амортизирующие свойства упаковки / И. Р. Антибас, А. Н. Сиротенко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. материалов 7-й междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 200–202.

References

1. Hermann, A. P., Nickel, G., Riedel, R. Construction materials based upon biologically renewable resource – from components to finished parts. Polymer Degradation and Stability, 1998, no. 59, pp. 251-262.

2. Nickel, J., Riedel, U. Activities in biocomposites. Materials Today, 2003, vol. 6, no. 4, pp. 44-48.

3. Netravali, A. N., Chabba, S. Composites get greener. Materials Today, 2003, vol. 66, no. 4, pp. 537-545.

4. Richardson, M., Zhang, Z. Nonwoven hemp reinforced composites. Reinforced Plastics, 2001, vol. 45, no. 4, pp. 40-44.

5. Marsh, G. Next step for automotive materials. Materials Today, 2003, vol. 6, no. 4, pp. 36-43.

6. Luo, S., Netravali, A.N. Green composites made from pineapple fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin. Proc. of ICCE-5 (Fifth International Conference On Composites Engineering), Las Vegas, USA, 1998, pp. 661-667.

7. Luo, S., Netravali, A.N. Mechanical and thermal properties of environment friendly green composites made from pineapple leaf fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin. Polymer Composites, 1999, no. 20, pp. 367-378.

8. Thames, S. F., Zhou, L. Effect of preparation and processing on mechanical properties and water absorption of soy protein-based biocomposites. Proc. of ICCE-5 (Fifth International Conference On Composites Engineering), Las Vegas, USA, 1998, pp. 887-897.

9. Thames, S. F., Cook, R., Edgar, L.A, Jr., de Blasio, S. Combining soybean protein with other renewable agrochemicals to produce environmentally friendly, formaldehyde-free wood adhesives. Proc. of ICCE-6 (Sixth International Conference On Composites Engineering), Florida, USA, 1999, pp. 135-146.

10. Kharmanda, G., Antypas, I. Reliability-Based Design Optimization Strategy for Soil Tillage Equipment Considering Soil Parameter Uncertainty. Vestnik of DSTU, 2016, vol. 16, no. 2 (85), pp. 136-147.

11. Antypas, I.R., Partko, S.A. Vliyanie parametrov plodov na ikh povrezhdeniya pri transportirovke. [Effect of fruit parameters on their damage in transit.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 9-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 9th Int. Sci.-Pract. Conf.] Rostov-on-Don, 2016, pp. 79–82 (in Russian).

12. Antypas, I.R., Partko, S.A., Sirotenko, A.N. Vliyanie formy gofrirovannogo kartona na amortiziruyushchie svoystva upakovki. [Effect of corrugated cardboard shape on the packing damping properties.] Vestnik of DSTU, 2016, vol. 16, no. 1 (84), pp. 36–42 (in Russian).

13. Antypas, I.R., Sirotenko, A.N. Vliyanie formy gofrirovannogo kartona na amortiziruyushchie svoystva upakovki. [Effect of corrugated cardboard shape on the packing damping properties.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 7-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 7th Int. Sci.-Pract. Conf.] Rostov-on-Don, 2014, pp. 200–202 (in Russian).

Поступила в редакцию 17.10.2016
Сдана в редакцию 25.10.2016
Запланирована в номер 11.01.2017

Received 17.10.2016
Submitted 25.10.2016
Scheduled in the issue 11.01.2017

Об авторах:

Антибас Имад Ризакалла, доцент кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID: http://orcid.org/ 0000-0002-8141-9529, imad.antypas@mail.ru

Дьяченко Алексей Геннадьевич, доцент кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1) ,кандидат технических наук, ORCID: http://orcid.org/ 0000-0001-9934-4193, Dyachenko_aleshka@bk.ru

Authors:

Antypas, Imad Rizakalla, associate professor of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand. Sci. (Eng.), ORCID: http://orcid.org/ 0000-0002-8141-9529, imad.antypas@mail.ru

Dyachenko, Alexey G., associate professor of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand. Sci. (Eng.), ORCID: http://orcid.org/ 0000-0001-9934-4193, Dyachenko_aleshka@bk.ru